

УДК 314.625

Володимир Лесів, Анатолій Марценюк

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВИХ КООРДИНАТ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Запропоновано метод комплексної обробки даних в задачі підвищення точності визначення кутових координат в радіолокаційних системах. Метод включає в себе попередній розрахунок пеленгу з застосуванням модельних гаусових діаграм спрямованості передаючої та приймаючої антен і кореляційну схему обробки сигналів.

Ключові слова: кутові координати, пеленгаційна характеристика, спектр сигналу.

Volodymyr Lesiv, Anatoliji Marcenjuk

METHOD FOR IMPROVING THE ACCURACY OF DETERMINING THE ANGULAR COORDINATES OF RADAR SYSTEMS

The algorithm of complex data processing in the problem of increasing the accuracy of determination of angular coordinates in radar systems is proposed. The algorithm includes a preliminary calculation of the bearing with the use of model Gaussian direction diagrams of the transmitting and receiving antennas and the correlation scheme of signal processing.

Keywords: angular coordinates, direction finding characteristic, spectrum of the signal.

Багато задач радіолокації, радіонавігації, зв'язку вимагають підвищеної точності оцінки амплітуд, яка не може бути досягнута традиційними методами. Основний вплив на величину похибки пеленгації створюють наявність бічних пелюсток діаграм спрямованості (ДС) антен і помилки визначення амплітуд сигналів, обумовлені наявністю шумів в отриманих даних. Точність оцінки координат джерела випромінювання, характерна для традиційних методів, може бути підвищена шляхом проведення попереднього аналізу діаграм спрямованості антенної системи та врахування специфіки амплітудної моноімпульсної пеленгації при визначенні амплітуд прийнятих сигналів.

$$F(A_1, A_2) = \frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2}, \quad (1)$$

де A_1, A_2 – зазвичай мають сенс амплітуд прийнятих сигналів.

Визначення кутових координат джерела випромінювання амплітудним моноімпульсним методом включає в себе два послідовних етапи: оцінку амплітуд сигналів A_i , прийнятих різними каналами антенної системи, і визначення координат джерела випромінювання (x, y) на основі розв'язання системи нелінійних рівнянь:

$$\begin{cases} F(f_1(x, y), f_2(x, y)) = F(A_1, A_2) \\ F(f_1(x, y), f_3(x, y)) = F(A_1, A_3) \end{cases} \quad (2)$$

де f_i – діаграма спрямованості антени.

При цьому передбачається наявність єдиного джерела в зоні прийому антенної системи, і розрахунок пеленгу проводиться не менше ніж по трьох каналах антенної

системи. У загальному випадку задача розв'язання системи рівнянь (2) зводиться до оптимізації деякого функціоналу середньоквадратичної неузгодженості.

Визначальний вплив на точність розв'язання системи (2) роблять наступні фактори. По-перше, не монотонність функціоналу пеленгаційної характеристики внаслідок наявності бічних пелюсток ДС веде до появи великої кількості помилкових пеленгів, які можуть бути прийняті за напрямок на джерело випромінювання. По-друге, наявність шумів різних рівнів і природи призводить до зміщення розв'язання системи (2).

Кореляційний моноімпульсний метод визначення кутових координат

Зменшення впливу бічних пелюсток ДС антен може бути вироблено на основі попереднього аналізу потужності прийнятих сигналів багатоканальної антеною системою і виключенням з обробки каналів, потужність сигналу в яких нижче рівня бічних пелюсток. Для вирішення системи рівнянь пеленгації (2) антенна система повинна містити не менше трьох прийомних антен. При наявності більшої кількості прийомних каналів є можливість відмови від роботи з каналами з низьким рівнем сигналу. У даних умовах визначення пеленга може бути розділене на два етапи.

На першому етапі відбувається перехід від ДС реальних антен до ідеальної моделі шляхом апроксимації головної пелюстки ДС. Для апроксимації зручно використовувати функцію Гауса, оскільки при цьому в рамках зазначеної моделі система (2) зводиться до системи лінійних рівнянь. Для підвищення стійкості розв'язку такої системи (x_0, y_0) може бути знайдено шляхом заміни оберненої матриці псевдооберненою матрицею Мура-Пенроуза, що відповідає розв'язку мінімуму норми [4]. На другому етапі поблизу знайденого початкового наближення проводиться розв'язання системи (2) з використанням ДС реальних антен (рис. 1).

Традиційний метод оцінки амплітуд зводиться до розрахунку потужності прийнятого сигналу в кожному каналі антенної системи [5], при цьому не враховується вплив адитивних шумів на точність оцінки амплітуди. Для збільшення точності вимірювань необхідно оптимізувати метод визначення амплітуди сигналів, прийнятих різними каналами антенної системи. Для збільшення співвідношення сигнал/шум (ССШ) в прийнятих сигналах пропонується перехід від обробки безпосередньо сигналів до обробки їх взаємної кореляційної функції, що можна розглядати як реалізацію методу максимальної правдоподібності [6]:

$$s'_1(\tau) = \int s_1(t)s_2(t + \tau)dt \quad (3)$$

де $s_1(t)$, $s_2(t)$ – сигнали, прийняті 1-ою і 2-ою антенами.

Перехід від сигналів $s_1(t)$, $s_2(t)$ до кореляційного сигналу $s'_1(\tau)$ може бути представлений як перехід від реальних ДН антен $f_1(x, y)$, $f_2(x, y)$ до системи “уявних” антен, ДС $f'_1(x, y)$ яких задаються добутком ДС вихідних антен.

Структурна схема запропонованої моделі представлена на рис. 2. В рамках цієї моделі здійснюється перехід до антеною системі, в якій кутові координати джерела випромінювання не змінюються, сигнал $s'(\tau)$, що приймається системою уявних антен, визначається автокореляційною функцією вихідного сигналу $s(t)$, а ДС уявних антен задаються взаємними добутками ДС вихідних антен.

Розрахунок амплітуд сигналів в каналах уявної антенної системи може проводитися на основі традиційного методу, з використанням енергії сигналу. Як було сказано вище, традиційний метод оцінки амплітуд не враховує вплив адитивних шумів.

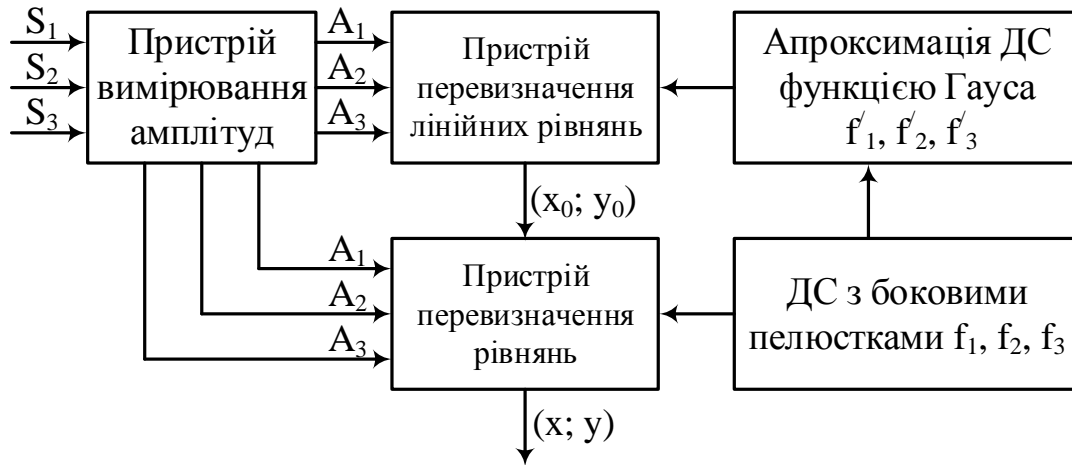


Рис. 1. Схема комплексного методу амплітудної моноімпульсної пеленгації

Врахування специфіки моноімпульсного методу (синфазність прийому сигналу різними каналами) дозволяє підвищити точність розрахунку амплітуд уявних сигналів.



Рис. 2. Структурна схема блоку оцінки амплітуд

Метод оцінки амплітуд сигналів

Для сигналів з низьким ССШ вплив адитивного шуму на точність визначення амплітуд прийнятих сигналів може бути зменшено на основі виключення шумовий складової з енергії прийнятого сигналу в кожному каналі приймальної системи. Попередня оцінка рівня шуму в даній антені і виключення його енергії $E_{\text{кор.}}$ із загальної енергії прийнятого сигналу дозволяють в припущенні некорельованих шумів отримати оцінку корисної складової прийнятого сигналу.

Припустимо наявність на приймальній стороні еталонного сигналу $s_{\text{Етал.}}(t) = A_{\text{Етал.}}s(t)$, що містить тільки корисний сигнал $s(t)$, прийнятий синфазно з сигналами в кожній з приймальних антен. Різниця сигналу на виході i -ї антени і еталонного сигналу має наступний вигляд:

$$\Delta s_i(t) = s_i(t) - \alpha s_{\text{Етал.}}(t) = (A_i - \alpha A_{\text{Етал.}})s(t) + A_{ni}n(t) \quad (4)$$

Варіацією коефіцієнта досягається придушення доданка, що містить корисну складову сигналу $s(t)$. Для некорельованої шумової складової з нульовим середнім

завдання визначення зводиться до одновимірної оптимізації функціоналу енергії різницевого сигналу:

$$\Delta s_i(t) = s_i(t) - \alpha s_{\text{Етал.}}(t) = (A_i - \alpha A_{\text{Етал.}})s(t) + A_{ni}n(t) \quad (5)$$

Варіацією коефіцієнта досягається придушення доданку, що містить корисну складову сигналу $s(t)$. Для некорельованої шумовий складової з нульовим середнім завдання визначення α зводиться до одновимірної оптимізації функціоналу енергії різницевого сигналу:

$$F = \int \Delta s_i^2(t) dt = (A_i - \alpha A_{\text{Етал.}})^2 \int s^2(t) dt + A_{ni}^2 \int n^2(t) dt \rightarrow \min \quad (6)$$

При такому підході мінімум функціоналу F відповідає оцінці енергії шуму в i -й приймальній антені, яку необхідно знайти.

Для застосування даного підходу особливу увагу необхідно приділити питанню вибору еталонного сигналу $s_{\text{Етал.}}(t)$. Для завдання амплітудної моноімпульсної пеленгації характерна ситуація, коли корисний сигнал потрапляє в центральну частину однієї з приймаючих антен. ССШ в прийнятих даних на виході такої антени має максимальне значення. Вибір антени з еталонним сигналом може бути здійснений за умовою максимуму енергії прийнятого сигналу.

Висновки

У роботі представлено метод амплітудної моноімпульсної пеленгації із застосуванням попередньої обробки на основі модельних ідеальних ДС приймаючих антен. Запропоновано схему оптимізації методу розрахунку амплітуд прийнятих сигналів на основі кореляційної обробки сигналів і попередньої оцінки рівня шуму в каналах антенної системи. Описаний підхід застосований в рамках пеленгації ФМ2-сигналів на фоні адитивного шуму. Показано підвищення точності визначення кутових координат джерела радіовипромінювання запропонованим в роботі методом в порівнянні з традиційним алгоритмом.

Література.

1. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации ВИРТА ПВО, 1984. — 408 с.
2. Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. М.: Радио и связь, 1984. 312 с.
3. Марчук В.И.(ред.) Методы цифровой обработки сигналов для решения прикладных задач М.: Радиотехника, 2012. — 128 с.
4. Радиотехнические системы Ю.И. Казаринов, Ю.М. Коломенский, В.М. Кутузов, В.В. Леонтьев, А.С. Маргун, В.К. Орлов, Б.П. Подкопаев, Ю.Д. Ульяницкий. — М.: Академия, 2008. — 592 с.